

TRA RICORDI E DOCUMENTI: RADIOASTRONOMIA E COSMOLOGIA A BOLOGNA, 1959-1969

A. Braccesi

Dipartimento di Astronomia dell'Università di Bologna

ABSTRACT.

We retrace on the basis of personal souvenirs and documents the early developments of radioastronomy in Bologna and of Bologna contributions to cosmological research.

1 - Introduzione.

Essere oggettivi è sempre difficile e lo è maggiormente se ci si vuole occupare di cosa recente, di cosa nella quale, per di più, si è stati direttamente coinvolti.

Anche se si cerca di ricorrere a documenti, la loro ricerca non può che essere mirata, indirizzata dai ricordi, di qui il titolo di questo scritto.

Gli anni tra il '60 ed il '70 sono stati anni importanti per l'astronomia italiana, sono gli anni in cui sono state poste le basi di quello che essa è adesso, un'impresa che appare vitale nel suo complesso e non più una gora morta in mezzo alla quale, non credo sia ingiuria dirlo, solo Arcetri e Padova-Asiago, allora i soli punti di intervento privilegiato del C.N.R., conservavano veri legami internazionali ed il senso della misura delle cose

Credo le grosse novità di quegli anni siano state la nascita della radioastronomia a Bologna e la ripresa dell'astrofisica stellare, sotto la guida di Gratton, a Roma, eventi che sono stati voluti dal mondo della fisica, mondo nel quale va sostanzialmente inquadrato anche Righini, e che hanno agito da volano anche per gli altri, Padova compresa.

Altra cosa che non va dimenticata è che gli anni '60 furono anche gli anni in cui, attraverso Bruno Rossi ed il suo allievo Riccardo Giacconi, sono state poste le basi per quella che poi sarebbe divenuta la italian-connection relativa prima all'astronomia X e poi allo Space Telescope, altro elemento chiave per la fortuna dell'astronomia italiana di questi anni

Per una riflessione su questi fatti sarebbe bello raccogliere le testimonianze dei protagonisti, ma in buona parte, penso a Righini, a Gratton, a Ceccarelli, essi sono già scomparsi. Sarebbe anche bello poter disporre delle testimonianze documentali ma, a parte i lavori a stampa, se esse ancora esistono sono annegate in tale mare di documenti di puro carattere amministrativo da domandarsi se varrà mai la pena di tirarle fuori.

Un discorso a parte andrebbe fatto per le lettere, anche perchè quelli sono gli ultimi anni nei quali si scriveva piuttosto che telefonare, e non esistevano i mails. Le lettere, rispetto ad altri documenti quali relazioni o simili, sono anche più immediate e sincere e, specie se tra più interlocutori, permettono veramente di rivivere l'atmosfera del momento, con tutti i suoi problemi, speranze e delusioni. Ma le lettere cui penso sono lettere private, e non c'è da noi

l'abitudine di lasciarle alle istituzioni, e questo è un peccato perchè costituirebbero un vero materiale di prima mano.

Dico questo perchè in quanto segue le lettere che ho conservato mi sono state preziose, non solo per ricostruire date e luoghi, ma anche per integrare e correggere i ricordi.

Ma veniamo al nostro argomento.

2 - Antefatti.

All'inizio del 1969 Ceccarelli mi scriveva: "Quasi esattamente 10 anni fa sono venuto a cercarti per il Cy. A dalla stanzina dove fantasticavo sul come squagliarmi dal giro delle particelle - avevo passato le vacanze di Natale studiando la relatività senza capirci niente . Poi, in marzo, abbiamo comprato i palloni di gomma, in estate sono andato a Jodrell, eccetera ."

Avevo conosciuto Ceccarelli come "tutore" di noi studenti di fisica del terzo anno. L'antimateria, alla fine degli anni '50 era piuttosto di moda: nelle teorie dell'universo stazionario non si vedeva bene perchè dovesse nascere dell'una e non dell'altra e si sapeva che Alfvén era alla ricerca di meccanismi che consentissero la loro separazione. Così, qualcuno pensava, potevano nascere galassie là dove dominava la materia, antigalassie là dove dominava l'antimateria.

Cygnus A, la seconda radiosorgente di tutto il cielo per intensità, era stata da poco identificata con la debole immagine di quelle che apparivano come due lontane galassie in collisione. Di dove poteva provenire l'enorme quantità di energia che l'oggetto irradiava? Cosa aveva potuto conferire, in fase di rimbalzo, agli aloni gassosi delle due galassie - tale si pensava allora essere la natura di ciò che ora chiamiamo lobi radio - il surplus di velocità che consentiva loro di presentarsi già ben separati mentre le componenti stellari erano ancora in fase di collisione?

Sia Hoyle e Burbidge¹ che Philip Morrison² suggerirono che le peculiarità dei fenomeni che si andavano osservando derivassero dall'essere una delle galassie composta di materia e l'altra di antimateria, Morrison inoltre stimò in $1 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ sulla Terra il flusso di γ provenienti dal decadimento dei π^0 risultanti dall'annichilazione dei nucleoni di una delle galassie con gli antinucleoni dell'altra.

Gamma di questo tipo vengono rapidamente assorbiti dall'atmosfera terrestre, ma possono essere rivelati utilizzando le coppie di elettroni generati in emulsioni nucleari esposte in quota. Per di più il Cigno a Bologna, attorno al tempo della sua culminazione, si mantiene entro 8° dallo zenit per circa un ora, ed anche se il carico utile durante l'esposizione fosse stato lasciato libero di ruotare azimutalmente, tutte le coppie di elettroni prodotti da γ provenienti dal Cigno avrebbero dovuto avere i vertici compresi entro questo angolo.

Ciò già aiutava a distinguerli dal fondo derivante dai γ originati dal decadimento dei pioni neutri prodotti dai raggi cosmici nella nostra atmosfera. Dato poi che questi provengono quasi tutti dall'alto, invertendo l'orientamento delle emulsioni al momento dell'esposizione in quota, era possibile limitare ulteriormente il fondo.

Ceccarelli, cominciò ad interessarsi a questa faccenda verso l'inizio del 1959, verso Pasqua il marchingegno per il ribaltamento delle lastre era pronto e cominciò il lancio dei palloni. Dopo un certo numero di voli abortiti, palloni che scoppiavano, carichi utili perduti, alla fine luglio un volo andò secondo programma ed ai primi di agosto le emulsioni furono sviluppate a Milano, nel laboratorio del Prof. Occhialini, al vecchio Istituto di Fisica in via Celoria.

Lo scanning delle lastre fu diviso tra Padova, dove lo seguì Salandin, e Bologna, dove lo seguì io, allora ancora studente. Cercare le coppie era cosa lunga e delicata. Dopo mesi di lavoro 8 cm^3 di emulsione erano stati pazientemente esplorati, erano state trovate e misurate circa 1000 coppie di elettroni, e solo una rientrava, marginalmente, nel cono di accettazione. Il flusso di γ dal Cigno risultava minore di $5 \cdot 10^{-3}\text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, almeno 200 volte più piccolo del valore previsto da Morrison, per Cygnus A occorreva immaginare un diverso modello.

Il lavoro fu finito nei primi mesi del 1960, e spedito al Nuovo Cimento l'11 di maggio³.

Questa ricerca, per quanto occasionale, credo abbia costituito un momento importante nella vita scientifica di Marcello Ceccarelli. Non solo rafforzò il suo prestigio all'interno della banda dei "cosmicari", ad anni di distanza Bruno Rossi ricordava ancora questa prima esperienza di γ -astronomia, ma lo mise in rapporto con astronomi, come Burbidge ed Hoyle, che giuocavano anche di fantasia, e con i quali poteva meglio ritrovarsi.

3 - Il progetto radioastronomico.

Nel "Viaggio provvisorio" Ceccarelli scrive: "Perchè - mi dice un giorno G. sulle scale dell'Istituto - non costruisci un radiotelescopio?"⁴

Doveva essere il maggio 1959, il lancio buono del pallone non c'era ancora stato, G. è il prof. Giampiero Puppi.

Come mai Ceccarelli, dopo essersi "squamato dal giro delle particelle", accettò di capeggiare l'impresa radioastronomica?

Una delle ragioni fu che la radioastronomia era ancora in uno stadio abbastanza artigianale, non aveva ancora quelle caratteristiche spersonalizzate, di "big science", che la fisica delle particelle, con l'introduzione degli acceleratori, andava sempre più assumendo, e come tale dovette apparirgli più congeniale. Da qualche evento nel microcosmo, le "stelle" nelle emulsioni nucleari, a qualche evento nel macrocosmo, le "radiosorgenti", l'elemento naturalistico era preservato, come preservato era il contatto diretto con la strumentazione, qualcosa che per un fisico sperimentale di vecchia scuola era parte della vita stessa.

L'altra ragione fu che a quei tempi un "fisico generale", per andare in cattedra, doveva dimostrare non solo di essere abile, fantasioso e scientificamente indipendente, ma anche di possedere doti del tipo che ora definiremmo "manageriali". Nel 1959 Marcello aveva 32 anni e, secondo il costume dei tempi, era giunto il suo momento, o prendere o lasciare. Inoltre l'impresa del Cigno in quanto tale non apriva grandi prospettive di lavoro.

Dei primi mesi ho solo ricordi sfocati. Fui spedito all'Istituto di Geografia a visionare la collezione delle tavolette I.G.M. alla ricerca di una valletta pianeggiante, protetta da montagne, poco abitata, dove non passasse né una ferrovia né una strada importante. Di posti del genere, a parte il Fucino, ne trovai ben pochi. Comunque nell'estate del 1959 Ceccarelli e Mannino partirono per un viaggio attraverso l'Italia alla ricerca di un sito "ideale", viaggio finito con un incidente stradale senza conseguenze per le persone, ma con un'auto semidistrutta.

La prima vera interazione con il progetto la ebbi invece durante le vacanze del Natale 1959. Ceccarelli era tornato da una visita in Inghilterra dove gli avevano detto che nei radiotelescopi un elemento fondamentale era il "balun". Ai suoi interlocutori la cosa sembrava così ovvia che non aveva osato chiedere spiegazioni. Così ci trovammo ad esplorare le annate dei P.I.R.E., Proceedings Institute of Radio Engineering, fortunatamente esistenti nella biblioteca di Fisica, cercando cosa si intendesse con quella parola che non si trovava nei dizionari, e che poi scoprimmo essere la locuzione abbreviata usata dagli antennisti per indicare i trasformatori bilanciato-sbilanciato, i cosiddetti "balanced-unbalanced transformers".

In gennaio furono arruolati un ingegnere elettronico, Gianfranco Sinigaglia, che proveniva dal reparto di progettazione dei televisori della Radiomarelli, e, più o meno contemporaneamente due tecnici elettronici, Righetti e Cavallo, entrambi con un background di videoriparatori, un meccanico, Oriano Volta che veniva da un'esperienza industriale ed un giovane con compito anche di autista, il Luciano Baldeschi che ancora lavora a radioastronomia. Alla fine di febbraio o ai primi di marzo una sezione di cilindro parabolico larga sette metri e lunga dieci o dodici era stata montata sulla terrazza dell'Augusto Righi con nel fuoco la sua brava linea di trasmissione bipolare completa di riflettore che alimentava due gruppi di sette dipoli ad onda intera, collegata, attraverso il famoso "balun", ad un cavo coassiale da 50 Ω che portava il segnale ad un ricevitore con due megahertz di banda passante la cui uscita veniva registrata su carta con uno dei classici registratori potenziometrici del tempo, gli "speedomax" ben noti anche a chi si occupava di fotometria fotoelettrica.

Nonostante l'instabilità del ricevitore, ed i rumori elettrici prodotti dalle scintille di accensione delle auto che transitavano in via Irnerio, ottenemmo un discreto tracciato del passaggio della galassia attraverso il lobo dell'antenna.

Fatto e smontato, perché intanto si stavano costruendo alle officine Sarti, allora a cento metri dall'Istituto di Fisica, le centine in "safim", un profilato asolato allora di moda per scaffalature e simili, del futuro cilindro parabolico di prova, nel contempo si stavano predisponendo nella tenuta della famiglia Ramanzini, sotto la supervisione di Giancarlo Setti che credo per l'unica volta nella sua vita ebbe modo di mettere a frutto l'originario diploma di geometra, le fondazioni su cui montarle e si stava anche cercando di costruire un ricevitore un po' meno rumoroso ed instabile di quello usato la prima volta.

Il radiotelescopio di prova, familiarmente denominato "medicoscopio uno", col suo cilindro parabolico lungo 110 m e largo 7, fu pronto verso la fine di maggio completo dei 250 fili di acciaio, i 25 chilometri di filo, che tesi da un estremo all'altro costituivano il riflettore. In una estenuante giornata i 112 dipoli furono montati sulla linea di trasmissione, i cavi coassiali di discesa connessi tra loro ad "albero di natale" con un insieme di adattatori

di impedenza che doveva assicurare una illuminazione alla "Tchebyscheff", l'illuminazione che dovrebbe assicurare il miglior rapporto tra il segnale raccolto ed il livello dei lobi secondari, ed il tutto fu connesso al ricevitore.

Quella stessa sera, la sera del 9 giugno 1960, ottenemmo la prima registrazione e qualche giorno più tardi lo strumento fu debitamente inaugurato dal ministro Medici.

Il sistema di sincronizzazione del movimento delle centine era alquanto primitivo: al via partivano tutte insieme, fatti 5 gradi si arrestavano finché non arrivava anche l'ultima, per poi ripartire. Dato che a volte qualche centina non ripartiva, quando il cilindro fu fatto girare in onore del ministro, fu lasciata una persona per centina, più o meno seminascosta, per rimetterla in moto se non ripartiva da sola. Ma tutto andò per il meglio. Il 9 di luglio dello stesso anno l'articolo che descrive lo strumento⁵ fu inviato al Nuovo Cimento.

Poco dopo l'inaugurazione Sinigaglia si recò a Folkestone per un congresso di radioamatori. Io lo raggiunsi ed insieme visitammo Jobrell Banck e Cambridge, svolgendo un accurato lavoro di intelligence sui dettagli degli illuminatori e delle linee di trasmissione utilizzati nelle antenne di Ryle.

Sono entrato in dettaglio su tutte queste cose non solo perché il ricordo chiama il ricordo, ma per sottolineare due aspetti: la rapidità con la quale ci impadronimmo di un insieme di tecnologie piuttosto complesso, e la velocità con la quale i progetti potevano venir tradotti in pratica. Nonostante a volte ci sembrasse esasperante, la burocrazia dell'epoca era molto più snella di quella del giorno d'oggi, ed il limite di gestione "privatistica" lasciato a rettori e direttori di istituti estremamente ampio, o almeno così appariva dall'osservatorio privilegiato costituito dall'istituto-dipartimento messo su a Bologna da Giampiero Puppi.

Dato che come dicevo il ricordo chiama il ricordo, mentre raccoglievo da terra il filo di una prolunga elettrica ci rimasi attaccato: mi si serrò la mano intorno e non riuscivo più ad aprirla. Molto razionalmente pensavo che se riuscivo a saltare potevo interrompere il contatto ed aprire la mano, ma pare che mentre credevo di far questo stessi solo vibrando emettendo suoni disarticolati. Per fortuna Setti staccò il teleruttore della corrente. Ho ancora sul palmo della mano un segnetto bianco, ricordo di questa avventura.

La sera della prima registrazione non avevamo la minima idea delle sensibilità dello strumento. Così regolammo l'amplificazione in modo che il rumore fosse ben visibile sul tracciato e, dopo aver puntato la declinazione di Cygnus A, che passava in meridiano verso le otto, ci mettemmo ad aspettare. Diversi minuti prima del transitò il pennino del registratore cominciò a muoversi con oscillazioni sempre più ampie, poi puntò decisamente verso l'alto. Ricordo che mi avvicinai al ricevitore e con il reostato della "controtensione" lo riportai più volte rapidamente in scala, finché non rallentò, registrò il culmine del tracciato per poi cominciare a discendere a precipizio mentre io di volta in volta lo riportavo su. Alla fine tagliuzzammo la registrazione e, mettendo in registro i vari pezzi, ottenemmo un Cigno A altro un metro e venti che rimase per mesi incollato su un asse, nella stanzetta del ricevitore.

Con l'inaugurazione i rapporti tra Ceccarelli e questo primo strumento furono in pratica chiusi. Si trattava di andare oltre. La cosa più importante che ricavò dallo strumento fu di non fidarsi dei dipoli ad onda intera, di un disegno "leggero" alla Cambridge, e del filo zincato per i riflettori. Lo strumento fu lasciato a Mannino e Setti che volevano studiare le zone attive del Sole, ed in particolare le modalità della loro scomparsa al lembo, ed a me che volevo ottenere una survey dell'emissione nel continuo della nostra galassia da includere nella mia tesi - finii così per laurearmi nel febbraio del '62, con un buon anno di ritardo.

La scelta di costruire uno strumento a croce, del genere di quello di Mills, era a questo punto, almeno in pectore, già stata fatta, così come la scelta della tecnica dei cilindri parabolici sviluppata a Cambridge. Il modello che Ceccarelli allora aveva in mente era probabilmente quello della nuova croce progettata da Mills, ma trovava l'idea di un nord-sud con i dipoli sfasabili uno ad uno troppo ambiziosa per il nostro livello tecnico - ed anche Mills avrebbe poi avuto i suoi problemi con questo disegno.

I principali contatti fino allora Ceccarelli li aveva avuti con Dan Mathewson, allora a Jodrell, e con il gruppo di Cambridge. All'inizio dell'estate 1960 si recò però in Olanda dove Christiansen ed Högbom stavano lavorando al progetto del "Benelux Cross-Antenna Telescope" e partecipò alle discussioni sul loro progetto, cosa di cui gli si dà atto nel "BCAP Technical Report No 3" del 1961. Esiste, nella cartella "Be. Ne. Lux. Cross." nella biblioteca dell'IRA, un sunto in italiano di questo documento redatto da Ceccarelli e risalente presumibilmente al 1960 nel quale sono inserite come "note del traduttore" le sue osservazioni critiche, osservazioni che già delineano diverse delle scelte che avrebbero caratterizzato il progetto italiano.⁶

Ai primi di agosto le caratteristiche di massima del telescopio erano già definite: lo strumento avrebbe operato a 408 MHz, avrebbe avuto un E-W largo una trentina di metri, con l'illuminatore fuori asse in modo da non bloccare l'apertura e poter ottenere un livello molto basso di lobi secondari in N-S, ed un N-S ad interferometro, fatto di elementi più piccoli ed abbastanza fitti, in modo il primo massimo secondario della risposta andasse a cadere là dove il livello del segnale raccolto dall'E-W era sufficientemente basso, caratteristiche queste in parte riprese dalle opzioni più prudenti considerate nella discussione di massima del progetto per la croce olandese.

Perchè fu scelta una croce, e che senso aveva una croce italiana, in presenza del progetto Olandese?

Va detto che all'inizio di tutta questa storia accanto al nome di Puppi va registrato anche quello di Righini, e che alla base dell'accordo per promuovere la radioastronomia vi era stata anche una suddivisione tra Bologna ed Arcetri delle problematiche radioastronomiche, suddivisione che entro certi limiti continua a valere ancora oggi. a Bologna il continuo, ad Arcetri, oltre alla radioastronomia solare, le righe. Il finanziamento iniziale del Ministero era, se ricordo bene, pari a 600 milioni di lire, una cifra, per i tempi, di tutto rispetto.

Il continuo si riagganciava, attraverso il "non termico", a problematiche ben note ai fisici, e riguardanti i raggi cosmici. Esso permetteva infatti di estendere lo studio delle distribuzioni non termiche di particelle, attraverso loro componente elettronica, ben al di là della Terra, fino all'intera Galassia ed alle galassie esterne, sia quelle "normali" che in quelle dove i processi peculiari che portano alla formazione di distribuzioni non termiche

apparivano agire con efficienza abnorme: le cosiddette "radiogalassie", "radiogalassie" che apparivano a loro volta come uno strumento privilegiato per indagini di tipo cosmologico. Lo studio delle righe rientrava invece in un astrofisica più classica. Arcetri avrebbe avuto una parabola da 10 m precisa al millimetro, uno strumento per i tempi assai rispettabile, Bologna uno strumento per il continuo.

Lo studio del continuo non termico privilegiava le onde metriche. Inoltre in questa banda si potevano raggiungere, con costi abbastanza ragionevoli, anche le alte risoluzioni necessarie per l'identificazione delle radiosorgenti, un passo necessario per ogni loro ulteriore studio.

Nelle onde metriche erano disponibili solo poche bande di frequenze riservate alle osservazioni radioastronomiche. Gli 86 MHz, utilizzati da Mills per la sua prima croce e dal gruppo di Cambridge per la 2C, i 178 MHz utilizzati a Cambridge per la 3C e successivamente per la 4C, i 408 MHz già scelti nel 1958 per la Benelux Cross-Antenna⁷ e poi utilizzati anche da Mills per la sua seconda croce.

Via via che il progresso della tecnica permetteva di migliorare le prestazioni dei ricevitori, la scelta delle frequenze da utilizzare si andava lentamente spostando verso l'alto, ed il primo cilindro costruito a Medicina dimostrava che le tecniche a basso costo basate sui cilindri parabolici con riflettore fatto di fili, utilizzate a Cambridge a 178 MHz, potevano essere estese senza troppi problemi fino a 408 MHz.

Il costo relativamente basso degli strumenti ad onde metriche derivava dal fatto che a queste frequenze il numero delle sorgenti, visto in relazione al segnale di fondo ed alla sensibilità dei ricevitori, consentiva, componendo opportunamente i segnali raccolti dai diversi elementi in un "moltiplicatore" o "correlatore", di utilizzare superfici di raccolta parziali, assai minori della apertura fisica complessiva del sistema, le cosiddette "unfilelled apertures".

Strumenti del genere potevano avere una risposta a "pencil beam" come quello di Mills, o di tipo interferometrico, come quelli utilizzati a Cambridge per la 2C e la 3C. Gli strumenti a risposta interferometrica venivano da molti però ritenuti alquanto pericolosi sia per le possibili ambiguità nella determinazione della posizione delle radiosorgenti che per la perdita delle strutture estese, ed anche a Cambridge la scelta ormai andava verso il "pencil beam", ottenuto, nello strumento che poi eseguì al survey 4C, con un processo detto di "sintesi di apertura".

La sintesi di apertura non appariva però ancora ben sperimentata, per di più gli strumenti basati su questo principio apparivano unicamente strumenti di survey, non permettevano programmi osservativi flessibili. Occorreva infatti una intera campagna osservativa, in cui tutto funzionasse alla perfezione, prima di poter ottenere informazioni su di un qualsiasi oggetto. La tecnica alla Mills consentiva invece di osservare le radiosorgenti in tempo reale, rendendo possibili programmi flessibili, non solo di surveys, ma su oggetti specifici. Anche da un punto di vista del maneggio dei dati la soluzione sintesi di apertura ci sembrava, al nostro livello tecnico, un rischio.

La risposta alla seconda domanda, come mai una croce italiana se c'era già la croce Olandese, e abbastanza semplice: lo strumento italiano doveva avere dimensioni circa 1/4 di quello olandese, con una risoluzione di 4' in luogo di 1', venivano previsti tempi di realizzazione molto brevi, entro il 1973, poteva entro certi limiti funzionare rispetto a quello

come strumento pilota. Di qui, oltrechè dai rapporti umani stabilitisi tra Ceccarelli, Christiansen ed Høgbom, l'interesse degli olandesi ad aiutarci.

Per onestà va detto che la scelta del progetto, e del suo responsabile, non fu indolore. Agli inizi accanto a Ceccarelli compare il nome di Mannino, allora professore incaricato di Astronomia a Bologna - ma anche Ceccarelli non era ancora in cattedra. Per quanto ricordo fino all'inaugurazione dello strumento di prova tutto andò liscio, i primi contrasti però già emersero nel corso dell'estate. Puppi fu costretto a riconoscere che, al di là delle differenze di stile, un progetto del genere doveva avere una gestione unitaria e postò davanti alla necessità di una scelta⁸ non gli restò che optare per Ceccarelli, ma non fu decisione indolore ma qualcosa che con il tempo doveva andare sempre più esacerbandosi.

Il lavoro nell'inverno 1960-61 fu frenetico. Fu trovata la "Ditta" per le "ferraglie": la SAE di Lecco che progettò e poi costruì le agili centine del radiotelescopio. Una progettazione di punta dato che comportava l'uso all'avanguardia per i tempi del calcolatore, il che consentì di progettare strutture leggere che sotto l'effetto del proprio peso si deformassero sì ma restando sempre entro le tolleranze specificate, $\pm 1\text{ cm}$, dalla forma desiderata. Fu progettato l'illuminatore a "corn reflector" ed il prototipo, montato sul tetto di fisica, messo a punto studiandone il diagramma di radiazione coll'aiuto di un trasmettitore installato sulla torre di Astronomia. Coll'aiuto del diagramma così ottenuto fu calcolato il campo sulla bocca del futuro cilindro parabolico, e da tale campo, con una trasformata di Fourier eseguita con l'IBM 650 di Ingegneria, fu derivato il diagramma in N-S del cilindro, che risultò avere i 30 e più db di rifezione richiesti ai suoi lobi secondari. Fu infine calcolato il diagramma di antenna dell'intera croce e verificato che vi fosse un ragionevole bilanciamento tra le incertezze introdotte dal livello dei lobi secondari e quelle dovute alla presenza di sorgenti non risolte individualmente.

Per far questo occorre fare delle ipotesi sulla relazione numero-flusso delle radiosorgenti. È un caso abbastanza curioso in cui cosmologia e progettazione si condizionano a vicenda. Se si suppone che il numero di sorgenti deboli cresca abbastanza lentamente al diminuire del flusso, il limite dovuto al loro sovrapporsi casualmente nel fascio viene raggiunto a flussi piuttosto bassi, e l'effetto delle false sorgenti dovute ai lobi secondari diventa più rilevante, se il numero di sorgenti cresce rapidamente al diminuire del flusso, il limite dovuto al sovrapporsi delle sorgenti deboli, il cosiddetto limite di confusione, viene raggiunto prima e l'effetto delle false sorgenti dovute ai lobi secondari diventa meno importante. Se però si progetta uno strumento nella seconda ipotesi, ed è vera la prima - si rischia che il numero di false sorgenti alteri gravemente i conteggi, e faccia credere giusta la seconda ipotesi.

Per poter discriminare tra i due casi occorre dunque avere un alto livello di soppressione dei lobi secondari, ma senza eccedere, perchè per far questo in uno strumento a croce occorre aumentare la larghezza fisica delle braccia il che, a parità di spesa, significa dover ridurre la loro lunghezza e con essa la risoluzione dello strumento.

Facemmo comunque le nostre scelte sulla base degli scarni dati allora disponibili e, a posteriori, si può dire che non sbagliammo troppo.

Alla fine del maggio 1961 il progetto della croce fu illustrato da Ceccarelli al XIX corso della scuola di Varenna⁹ ed il lavoro che descrive il progetto, a nome di Ceccarelli e mio, fu

spedito al Nuovo Cimento il 21 luglio del 1961 ed uscì agli inizi dell'anno successivo¹⁰. Marcello, un po' piratescamente, sfruttando anche il fatto che il Nuovo Cimento a quei tempi viveva sotto il tetto dell'Augusto Righi, riuscì a farsene fare subito degli estratti e ad includerli nel pacco delle pubblicazioni per il concorso alla cattedra di Fisica Generale di Bari, sede dove prestò poi servizio nell'anno accademico 1961-62, in attesa che Bonetti rientrasse dagli Stati Uniti e di poter essere richiamato a Bologna. Se non erro in quegli estratti si parlava ancora di 327 MHz come della frequenza scelta per il radiotelescopio, frequenza che in fase di stampa diventò poi 408 MHz.

Nello stesso numero del Nuovo Cimento nel quale uscì il disegno dell'antenna vide la luce anche il progetto del sistema di ricezione, a firma questo di Gelato, Rosatelli e Sinigaglia¹¹.

Nel dicembre 1961 il progetto della croce fu presentato al "O.C.E.D, Symposium on Large Antennae for Radioastronomy" a Parigi¹².

Intanto il gruppo si era andato allargando. A Sinigaglia si erano progressivamente aggiunti altri due ingegneri elettronici, Giovanni Gelato e Carlo Rosatelli e diversi tecnici: Micheloni, Gallieri, Tomasetti, Trebbi, Cova, Rizzi e Magaroli, che aveva sostituito Volta come meccanico. Era anche entrato nel gruppo Alberto Bombonati, originariamente come disegnatore meccanico, ma che doveva subito rivelare le sue doti di organizzatore divenendo prezioso nel tenere i contatti con le ditte, nel tirare sui prezzi e nel far rispettare specifiche e tempi di consegna. Fu con noi per un certo tempo anche Giorgio Tabarroni, in qualità di ingegnere edile.

Il sito dove erigere il telescopio alla fine del 1960 era già definitivamente identificato. Dato che un luogo ideale non esisteva, optammo per i dintorni di Bologna, per un'area tra Medicina, Molinella e Argenta dove l'agricoltura era sempre più di tipo estensivo e la densità di popolazione residente andava progressivamente restringendosi.

Per erigere il radiotelescopio occorreva un'estensione di circa un miglio per un miglio, ed estensioni del genere erano disponibili solo nei terreni delle tante cooperative agricole operanti nella zona. Così, nell'autunno del '60 cominciammo a farci dei giri, ma in quelle rosse più di gran pranzi non rimediammo: le assemblee dei cooperatori erano sì per il "progresso", ma non volevano impicci con radiotelescopi, anche se poi c'era tutto da guadagnarci che il danno era piccolo e l'affitto offerto più che adeguato.

Finimmo così, merito di Bombonati e con la mediazione dell'onorevole Bersani, in una cooperativa bianca, con madonnina sulla strada d'ingresso. Il luogo preciso, sulle carte dell'IGM, era denominato "Casolina", la casetta abbandonata che si vede nel "Deserto Rosso" di Antonioni.

L'inizio dell'estate estate '61 fu dedicato alle operazioni geodetiche, per le quali avemmo la collaborazione dell'IGM. Piantammo tanti pilastrini a cinquanta metri l'uno dall'altro lungo i futuri allineamenti E-W e N-S e su ognuno essi murammo i blocchetti a piramide tronca con le croci di fiducia. I geometri dell'IGM condussero dapprima una livellazione di precisione, il che voleva dire partire da un estremo dell'allineamento con una livella di precisione determinando le quote dei blocchetti e dopo un viaggio di andata e ritorno "chiudere" con un errore complessivo dell'ordine del millimetro. Venne poi il momento delle operazioni di misura delle lunghezze, che furono eseguite come di fa per una base

geodetica, con i fili di invar tarati sul metro campione di Firenze, periodicamente verificato sul metro campione di Parigi. Si trattava anche qui di fare un viaggio di andata e di ritorno, prima con un filo e poi con l'altro, dieci misure a stima del decimo di millimetro ad ogni stazione, e di chiudere con un errore non più grande di uno o due millimetri. Tutta una squadra di persone, chi portava i treppiedi con le carrucole ed i contrappesi che servivano a porre in tensione i fili, chi i treppiedi con i becchi di flauto, chi gli ombrelloni per proteggere dal Sole gli strumenti, chi l'acqua da bere, chi i panini, perchè si andò avanti dall'alba al tramonto. Il geometra Pericoli dava il tempo per le misure ed annotava i numeri. Se ricordo bene, tra andata e ritorno, con uno dei due fili si chiuse con 0,8 millimetri di differenza, con l'altro 1,4. Ma una delle misure fu buttata perchè, tornati a Firenze, trovarono che il filo con il quale era stata eseguita aveva preso una storta, una "deformazione anelastica", e la sua lunghezza non era più quella originaria.

Subentrò poi il maggiore Stucchi che doveva determinare gli azimuth che poi furono incisi con una lima a V sugli angolari di ottone murati sui pilastrini estremi. Installò un Wild T4 sul pilastrino centrale, entro una capannetta di protezione, fece mettere delle luci sulle finestre dei campanili dei paesi vicini, e cominciò le sue silenziose e operazioni notturne di paragone degli azimuth delle massime elongazioni orientali ed occidentali di alcune stelle circumpolari con quelli dei campanili. La direzione dei punti cardinali fu stabilita con la precisione di circa un millimetro su seicento metri, 0,2 secondi d'arco.

Nel frattempo ci eravamo divisi i compiti. Ceccarelli con Bombonati la meccanica, Ceccarelli con me gli illuminatori e le linee di trasmissione, gli ingegneri con i tecnici l'elettronica. A Sinigaglia la responsabilità del disegno generale e dei sistemi di controllo, a Rosatelli quella dei preamplificatori, per i quali all'epoca si pensava di dover ricorrere ad amplificatori parametrici, oggetti assai complessi che includevano un pompaggio con microonde a 3 centimetri, oggetti che per fortuna il progresso della tecnica consentì di sostituire con molto più semplici preamplificatori a transistori, a Gelato la bassa frequenza, i correlatori e, novità per i tempi, il convertitore analogico digitale e la logica di invio dei dati verso il nastro magnetico di un "digital step recorder", un registratore a nastro capace di scrivere su comando i dati man mano che gli erano offerti. L'apparecchiatura, che funzionava ancora con transistori al germanio, divenne operativa nel 1965.

Nell'ottobre del '61 la SAE ci fece avere il primo "travetto", l'elemento di collegamento tra i falconi delle centine che doveva sostenere l'illuminatore, e potemmo cominciare la progettazione dettagliata dei dipoli e delle linee di trasmissione.

All'inizio del '62 una prima centina fu montata in cantiere a Lecco: le fotografie fatte nell'occasione mostrano la presenza di Bombonati, Ceccarelli, Righini e Bruno Rossi ed altri che non so identificare.

La progettazione dell'illuminatore e delle linee di trasmissione andò avanti tutto l'inverno ed in questo ci aiutò anche Daniel Harris, che passò a Bologna circa due anni. Già nel febbraio del '62 il progetto di massima era essenzialmente definito, incluso un disegno del trasformatore bilanciato-sbilanciato per i dipoli a mezz'onda, un disegno nel quale erano stati in qualche modo integrati tra loro i vari accorgimenti ai quali normalmente si ricorre in questo genere di circuiti e che si comportò egregiamente. Non riuscimmo però a farne fino in fondo la teoria, così, con mio grande rammarico, il disegno non fu mai pubblicato.

Verso Pasqua eravamo alle prese, sulla terrazza dell'Istituto, con la determinazione del centro di fase dell'illuminatore, l'immateriale luogo geometrico dal quale partiva l'onda cilindrica irradiata e che andava posizionato nel fuoco del cilindro parabolico. Un lavoro complesso e molto istruttivo.

Furono momenti magici ed un po' magmatici. Così li descriveva Marcello in calce ad una lettera spedita da Bari nel marzo di quell'anno:

<<Idee sciorinate al vento
Mutande bucate
In un campiello Veneziano
Cataste di scope, di ombrelli,
di pezzi di cavo coassiale
Un feto avvolto
nella carta di paglia
con sopra scritto "Fragile">>.

Sia i ricordi che i documenti che ho ritrovato sono avari di notizie per quanto riguarda l'inverno 1962-63. Evidentemente il lavoro andò avanti, ma ci furono anche degli slittamenti, dovuti in parte a ritardi nell'arrivo dei finanziamenti accordati, ritardi che divenivano veri e propri impedimenti nel momento in cui si trattava di passare dalla progettazione agli ordini industriali. Fu probabilmente questo il momento in cui decidemmo che dovevamo accontentarci di solo metà dell'E-W e passare da un disegno a croce ad un disegno a T. I circa 30 km di cavo coassiale della Pirelli da sotterrare lungo i bracci del telescopio erano evidentemente già stati ordinati prima di queste decisioni, così molte bobine sono avanzate, e sono ancora oggi magazzinate presso la croce.

Nel giugno del 1963 partivo per il servizio militare. A partire da questa data le lettere che ricevevo da Ceccarelli mi permettono di riannodare il discorso.

Il 31 luglio Ceccarelli mi scriveva: "I pali [delle fondazioni dei terminali] sono stati ormai messi quasi tutti, la capanna cresce, i pittori arrivano, il fossò viene scavato. Piccole noterelle oscure - Frigeri ha messo le fondazioni sul geoide invece che su una retta - sono solo 3 cm ma nevertheless è un po' troppo ... - Ho [dalla SAE] avuto il disegno delle fondazioni di Nord-Sud e vorrei iniziarle in settembre-ottobre"

Il 5 agosto: "Oggi è il giorno fissato per l'inizio dei lavori [di montaggio delle centine]. Ossia il giorno in cui Dan [Harris] era pronto la mattina, io sono arrivato dal Forte nel pomeriggio, Bombonati ha avvertito che sarà a Bologna solo domani e la SAE ha rimandato il tutto di 15 giorni" ..

Il 30 agosto: "I 23 piedoni [delle centine] sono nell'aria di Medicina, sistemati tridimensionalmente a ± 3 mm. La capanna è finita; la casetta ha avuto inizio; il parametrico sembra funzioni veramente; il Roberto [Fanti] non è solo una macchina da esami e la temperatura è mite"

Il 4 settembre: "... ti metto al corrente delle novità .. "a) Allineamento e messa a posto dell'E-W - Non si prevedono gravi difficoltà, per ora ... - b) Antenna di Sarti [i 600 m di linea di trasmissione in profilato di alluminio con i 1536 dipoli dell'illuminatore, Sarti era l'officina meccanica alla quale era affidato il lavoro]- Messa in produzione ... c) Il prezzo della Nord-Sud - È arrivata l'offerta della SAE: 375 lire al chilo con una mano di vernice e

franco Lecco; ossia 400/kg. (la E-W era a circa 245 lire/kg).. - Bombonati tratterà .." Il risultato finale fu che dovemmo ridurre la lunghezza del Nord-Sud a solo 300 metri per starci con i soldi

Il 29 aprile del 1964: "Affluiscono ferro, grane, ed anche un certo divertimento - È, in piccolo, il passaggio degli elefanti sulle Alpi oppure il movimento delle comparse nelle gradi scene di massa di "Cleopatra" - L'inizio dell'arrivo della Nord-Sud ..., fossi, bronzine, cavi, Pizzirani [disegnatore meccanico dell'istituto]; condizionamento, Consiglio di Amministrazione, lezioni, Sinigaglia, su un doppio fronte ortogonale.."

Il 13 giugno: "Non ho molte notizie da darti: le cose vanno avanti con un tran tran discreto - Un po' di grane, qualche microscopica soddisfazione - e stanchezza - .. - Forse ti chiederò di prendere in mano la baracca al momento delle grandi "azioni di massa": montaggio dei travetti e dei cavi coassiali..".

Il 26 di maggio ricevetti un telegramma "Giulio [Andreotti] Telegrafato 12 Mesi Ciao - Marcello" e a metà giugno ero di ritorno dal servizio militare. Marcello andò al Forte ed io restai, con Giovanni Gelato, a seguire le "azioni di massa", saldatura delle linee di alluminio, montaggio dei cavi di discesa, montaggio dei travetti.

In settembre fu completato il ricevitore, le varie parti furono connesse tra loro, ed il 7 di ottobre fummo in cielo. Le prime registrazioni furono raccolte in un album omaggio di cui resta copia all'IRA e nel novembre lo strumento fu inaugurato, nella pioggia, presente il Cardinale di Bologna ed il ministro Gui. Un primo catalogo di 624 radiosorgenti, quelle tra $\delta = -20^\circ$ e $\delta = -30^\circ$, fu inviato al Nuovo Cimento il 10 luglio del 1965¹³.

Qui i ricordi si fanno di nuovo confusi. Lavoravamo attivamente con l'E-W e ci divertivamo abbastanza. C'era stato un ricambio nel gruppo degli ingegneri, Rosatelli nel 1965 era tornato al CNEN ed anche Gelato ci aveva lasciati per l'ESTEC, era invece venuto a lavorare con noi Giuliano Colla. Roberto Fanti, Carla Giovannini e Tonino Ficarra si erano laureati, era comparso Gabriele Grueff ed un po' più tardi Lucia Padrielli. Nel 1965 avevamo anche risolto il problema della massa in fase degli elementi del N-S¹⁴.

Il ritardo subito dalla croce, dovuto in parte ai litigi accademici ai quali abbiamo accennato, in parte a slittamenti nei finanziamenti¹⁵, forse ora ci impensieriva un po' meno. L'E-W era stato un successo: si vedevano una ad una senza particolari sforzi moltissime sorgenti anche più deboli di quelle catalogate nel 4C. La nuova croce di Mills era anche lei in ritardo, la croce olandese, dopo aver cambiato di frequenza da 408 MHz a 21 cm¹⁶, non era più una croce ma sarebbe divenuta uno strumento di supersintesi¹⁷, così come anche il nuovo strumento progettato a Cambridge, lo "One Mile Telescope"¹⁸. La nostra croce, divenuta a questo punto "Croce del Nord", si sarebbe così ritrovata ad essere l'unico ed il più potente strumento di ricognizione generale del cielo disponibile nel nostro emisfero. Per di più nel 1965 aveva ricevuto il premio della SIF.

Alla fine dell'agosto 1966 mi recai negli Stati Uniti per un soggiorno di un anno. Quando l'aprile successivo interruppi il soggiorno e tornai a Bologna Ceccarelli era stato nominato Direttore dell'Istituto di Fisica e mi era stata affidata la responsabilità del gruppo.

Il Nord-Sud non era ancora entrato in funzione, i soldi erano quasi finiti. Allora gli stipendi dei tecnici degli ingegneri erano ancora pagati "a fattura" sui fondi di ricerca, e c'erano soldi solo fino a dicembre: se per quella data lo strumento non funzionava sarebbe stato il disastro.

Per fortuna il più era fatto. Mentre ero negli Stati Uniti erano stati sotterrati i cavi del Nord-Sud ed erano stati preparati gli illuminatori dei parabolini. Finimmo di mettere a punto il sistema di messa in fase per il puntamento elettrico del fascio, riuscimmo con un artificio a compensare l'onda stazionaria dovuta al segnale di ritorno che era comparsa quando gli illuminatori erano stati posizionati nel fuoco dei cilindri parabolici, ed infine il giorno della vigilia del Natale 1967, dopo una lunga giornata di lavoro, trascinando un lungo cavo da un preamplificatore all'altro avevamo risolto l'ambiguità di mezz'onda insita nel sistema di controllo delle fasi, restammo a Medicina Gabriele Grueff ed io con la croce puntata allo Zenit. Uno dei due si butto esausto su un letto, l'altro restò a guardare il pennino del registratore. Dopo una decina di minuti gli apparve chiaro che le salite e le successive discese del pennino mostravano che il segnale dell'E-W e quello del N-S erano sfasati tra loro di circa un quarto d'onda. Alzò il livello del cherosene nello sfasatore posto sull'invio dell'oscillatore locale al N-S, e cominciò a vedere passare le sorgenti correlate. O svegliò l'altro, o l'altro si svegliò da solo. Marcello poté scrivere a Rettore che lo strumento funzionava, ed il gruppo fu, almeno per il momento, in salvo.

Alla fine dell'anno tornai negli Stati Uniti. Mentre ero là furono determinati alcuni parametri sperimentali, calcolate le tabelle delle fasi e dei ritardi, ed a metà del mese successivo Gabriele Grueff, Tonino Ficarra e l'allora ancora studente Lucia Padrielli poterono puntare con pieno successo la croce fuori dallo Zenit. Lucia mi scriveva che questa <<prima>> era stata per lei <<strana ed emozionante>>, Grueff ricorda le sorgenti 4C, puntate in successione, che facevano una intera scala di registratore.

Una prima sezione di survey, estesa un grado in declinazione e comprendente 328 radiosorgenti, fu completata nella tarda primavera ed inviata alle *Astrophysics Letters* l'8 luglio 1968¹⁹, l'articolo che descrive il funzionamento della croce fu inviato al *Nuovo Cimento* il 19 agosto del 1968²⁰,

Le vicende successive della croce, e della radioastronomia bolognese in genere, lasciamo che sia qualcun altro, fra qualche anno, a descriverle. Vorrei aggiungere solo questo. Il 10 Settembre 1966 Ceccarelli mi scriveva da Monaco dove era in corso l'assemblea dell'URSI e dove si parlava di un possibile progetto radioastronomico europeo: "Sono stato invitato a pranzo da Ryle - Bisogna riuscire a varcare la barriera di potenziale tra l'essere stimati e l'essere richiesti - Qui tutti sono molto cordiali con me ed ho la netta sensazione che non ci considerano affatto sottosviluppati - Però nessuno ha ancora bisogno dei nostri dati - Finché non avremo una merce di scambio che sia veramente unica nel suo genere molto difficilmente riusciremo a sfondare".

La croce ci permise di far questo: i nuovi radiotelescopi permettevano di studiare le radiosorgenti in dettaglio ed a più frequenze, ma per poterlo fare bisognava sapere dove e cosa guardare, e questo, per le sorgenti più deboli delle 4C, eravamo solo noi a poterlo dire. Le buone posizioni permettavano anche di selezionare gli oggetti per categorie, possibili quasars, possibili radiogalassie, campi bianchi, una informazione preliminare che ci ha aperto le porte prima dell'interferometro del Caltech, poi di Westerbork, che utilizzammo quando era ancora non finito, e di rimbalzo ai telescopi ottici, per acquisire più in dettaglio conoscenze sugli oggetti così studiati.

Una "merce di scambio" dunque a questo punto l'avevamo e forse non è ancora, nemmeno oggi, del tutto esaurita.

4 - Cosmologie a confronto.

Nel 1958 si era svolto alla fine di luglio a Parigi il nono simposio dall'IAU e primo dell'URSI. Il volume degli atti, il "Paris Symposium on Radio Astronomy", edito nel 1959, è stato, assieme al volume di Shklovsky "Cosmic radio waves" del '60, un vero e proprio punto di riferimento per tutta una generazione.

Con la teoria della Steady State avevamo già avuto un contatto ai tempi del Cigno, ed una delle prime cose che era ovvio facessimo, una volta avuta in mano la Croce, era di inserirci nella discussione allora in corso sulla pendenza della LogS-LogN, la relazione tra la numero e flusso per le radiosorgenti.

Il gruppo di Sidney trovava infatti una pendenza bassa, riconciliabile con il valore euclideo di 1,5, valore che tenuto conto dell'andamento dello spettro delle sorgenti era anche vicino a quello prevedibile, nonostante gli effetti del redshif, nell'ambito della teoria dello Steady State. Il gruppo di Cambridge al contrario aveva dapprima trovato valori attorno 3, e sulla base di questo aveva affermato che nell'universo lontano le radiosorgenti erano più numerose che nell'universo vicino. Poi, sulla base delle osservazioni dalle quali deriva il 3C, aveva abbassato tale valore a 1.8, un valore comunque anche questo irconciliabile con la Steady State.

Tra i due gruppi, e tra il gruppo di Cambridge ed i fautori della Steady State, o forse meglio essenzialmente con Hoyle, si aprì un dibattito che raggiunse punte di asprezza fuori dall'usuale²¹. La croce di Bologna, più potente sia dello strumento a suo tempo usato da Mills che di quello del quale ormai disponevano i cambridgiani, lo strumento a sintesi di apertura cui si deve il 4C, doveva permetterci di decidere chi dei due contendenti fosse nel giusto, non solo attraverso propri conteggi ma controllando individualmente campioni di sorgenti sia australiane che inglesi per mettere in evidenza quali fossero le origini della discrepanza.

Si potevano infatti sospettare degli effetti strumentali. Le surveys di Cambridge erano poco protette rispetto ai lobi secondari, ed era lecito sospettare che anche nella 3C e nella 4C parte delle sorgenti più deboli potessero essere artefatti strumentali. Inoltre tali surveys erano state condotte con strumenti a risposta interferometrica che potevano aver discriminato o quantomeno abbassato il flusso attribuito alle sorgenti più diffuse e vicine. L'effetto complessivo, sorgenti deboli spurie e sorgenti forti sottostimate in flusso, avrebbe indubbiamente irripidito i conteggi, ma si trattava di stabilire in che misura tutto ciò aveva potuto agire. A loro volta gli australiani avrebbero potuto sottostimare il numero di sorgenti deboli perché annegate nel rumore delle loro registrazioni, che erano forse state, da questo punto di vista, sfruttate al di là del lecito.

Il 13 marzo 1962 Ceccarelli mi scriveva da Bari: <<dobbiamo cercar di avere il telescopio il più presto possibile - Senza lobi secondari: è tutto il lusso che chiedo - Con un fascio solo e con uno Speedomax - Il punto essenziale è di non essere ancora seduti in chiacchiere nella Via Veneto delle nostre poltroncine color ruggine il giorno in cui arriverà il preprint di Mills sul numero vs. flusso fatto con la nuova croce >>. Le poltroncine <<color ruggine >> credo che ancora alcuni le ricordino, nel <<salottino>> che dava sul terrazzo

dell'Istituto di Fisica, prima che fosse installata la capanna dei raggi cosmici, il <<salottino>> dove Margherita Hack veniva da Firenze ad insegnarci la radioastronomia.

Ma le cose andavano per le lunghe, io poi della teoria dello stato stazionario, specie dopo aver letto il libro di Bondi <<Comology>>, mi ero proprio innamorato. Mi attiravano due fatti, uno metodologico: non avere l'universo, in quella teoria, né nel passato né nel futuro alcun momento più "metafisico" di quanto non sia "metafisico" il presente, l'altro operativo: quello di offrire su molte cose previsioni univoche, mancando di parametri liberi, questo almeno nella versione di Bondi e Gold, la versione che a Bologna amavamo di più per la sua fragilità e la sua bellezza, anche se Ceccarelli credo sia in cuor suo sempre stato attratto dalla maggiore drammaticità delle teorie evolutive.

Così, rimuginandoci sopra, potei offrire il mio primo contributo scientifico autonomo. Se la nuova materia che va a sostituire la vecchia che la recessione cosmologica rende sempre più rara è costituita da idrogeno, allora, perché la composizione chimica media dell'universo possa rimanere costante, deve esistere una relazione tra la composizione chimica media dell'universo e la velocità con la quale le reazioni nucleari nelle stelle producono i nuclei composti, velocità che è può essere stimata dall'output energetico delle stelle.

Da tutto questo derivava una relazione tra la composizione chimica media della materia cosmica, il rapporto massa-luminosità delle galassie e la costante di Hubble. Con i dati allora disponibili l'output energetico delle galassie appariva circa 50 volte più piccolo di quanto è necessario per mantenere costante la composizione chimica del cosmo, contraddicendo così l'assunto di stazionarietà.

Il lavoro fu discusso, intermediario Daniel Harris, con Burbidge e lo stesso Hoyle, che non vi trovarono errori di principio ma che cercarono di frenare miei entusiasmi dicendo sostanzialmente che si erano resi conto da tempo di questa cosa, almeno per quanto riguardava la composizione chimica della nostra galassia. A me sembrava però di aver messo le cose in modo molto più pulito ed ero assai contento del mio lavoro²². Molti anni dopo Bondi mi disse di ricordarlo ancora e di averlo a suo tempo apprezzato, ma mi è sempre restato il dubbio che lo abbia detto per cortesia, da nostro ospite a Bologna, anche se questo contrasta con il carattere della persona²³.

La risonanza di questo lavoro, al di fuori del nostro gruppo, fu pressoché nulla. All'interno ci portò però a considerare con maggiore attenzione i risultati di Ryle.

La speranza di fare a tempo ad entrare nella discussione sulla LogS-LogN si concretizzò nel 1994 con l'entrata in funzione dell'E-W del radiotelescopio. I nostri risultati furono presentati nel luglio 1965 alla Scuola di Varenna, nell'ambito del corso intitolato "High-Energy Astrophysics", alla presenza di Sandage, Burbidge, Thorne, Fowler e Sciama. Grueff, allora ancora studente e tuttavia presente anche se in modo un po' irregolare, come me anni prima, alla scuola, ricorda che a parlare fu Carla Fanti, e che Burbidge, vicino al quale egli era seduto, osservò che dovevamo aver sbagliato la scala posta sul grafico, dato che sembrava che esso si estendesse a valori minori dell'unità di flusso! una cosa non comune per i tempi.

In questa prima presentazione, basata unicamente sulle nostre osservazioni, la pendenza della LogS-LogN risultava 1.78, in perfetto accordo con l'ultimo valore di Cambridge, ma il range dinamico dei dati era molto ristretto²⁴. Nei mesi successivi integrammo i nostri dati a

quelli di Parkes, correggemmo per gli effetti dovuti agli errori statistici ed alla confusione, e la pendenza complessiva risultò 1.58, minore del valore di Cambridge, ma, almeno a nostro giudizio, certamente superiore al valore euclideo di 1,5 e con ancor maggiore certezza, di tutti quelli prevedibili, senza evoluzione, nell'ambito di ogni ragionevole cosmologia relativistica.²⁵

Forse non si trattava di un gran lavoro, però da allora in poi, a Bologna, non avemmo più dubbi sul carattere evolutivo del nostro universo, senza dover aspettare per questo la scoperta della radiazione cosmologica di fondo ed il trionfo delle idee di Gamov.²⁶

I contatti avuti con Sandage nel corso della scuola della quale abbiamo detto furono all'origine del nostro primo lavoro sui quasars.

Agli inizi del 1963 le "radiostelle" erano diventate "quasi stelle", da oggetti galattici erano diventati oggetti estragalattici posti a gradi di distanza da noi²⁷, poi, nel 1965, uscì il lavoro di Sandage intitolato "The Existence of a Major New Constituent of the Universe: the Quasi Stellar Galaxies"²⁸ nel quale, basandosi essenzialmente sulla distribuzione in magnitudine degli oggetti ad eccesso ultravioletto del catalogo di Haro-Luyten e sullo spettro di sei oggetti - uno dei quali era risultato una stella, uno una galassia con righe di emissione, due avevano uno spettro continuo simile a quello degli oggetti quasi stellari e due mostravano le caratteristiche righe allargate dei quasars e redshifts molto elevati - si affermava che una considerevole frazione di quelle che sino allora erano state credute stelle calde, nane bianche o stelle blu di alone, erano in realtà, già alla 15^a magnitudine, quasars non ancora rivelate per via radio. Esse furono denominate QSG, "Quasi Stellar Galaxies", per distinguerle dai primi, i QSS ovvero "Quasi Stellar Radio Sources", i quali venivano così ad assumere il ruolo della punta dell'iceberg di una ben più vasta popolazione di oggetti cosmici.

Il successo iniziale di Sandage incoraggiò altri osservatori, che disponevano di mezzi strumentali di tutto rispetto anche se meno potenti del 200" del Palomar, primo tra tutti Kinman, che aveva già a quei tempi un amplificatore di immagini operante sul 120" del Lick Observatory, ad entrare nel giuoco. Ma tutti i dodici oggetti compresi tra la 15^a e la 16^a magnitudine osservati da Kinman risultarono stelle²⁹.

Così sia Kinman che Lynds e Villiere³⁰ criticarono l'interpretazione che Sandage aveva dato dei conteggi nel catalogo di Haro-Luyten. La situazione, ai tempi della scuola di Varenna della quale dicevamo, appariva piuttosto dunque abbastanza confusa e Sandage alquanto sulla difensiva³¹.

Ai pochi oggetti fino allora trovati per via ottica non corrispondeva alcuna radiosorgente nota, ma ciò poteva essere facilmente attribuito alla limitazione dei cataloghi radio allora disponibili, ed era ragionevole pensare che scendendo in flusso molti altri oggetti sarebbero stati rivelati. L'E-W della Croce, con la sua alta sensibilità e la sua facilità di impiego, appariva piuttosto adatto per questa ricerca, che avrebbe forse potuto chiarire qualcosa circa la natura degli oggetti.

Fu così che osservammo, credo tra il luglio e l'agosto 1965, un campione di 15 "BSO", Blue Stellar Objects, che sulla base dei colori fotoelettrici erano stati indicati da Sandage e Véron come possibili Q.S.G o nane bianche³². Nessuno di essi fu rilevato individualmente,

fu però rivelata una radioemissione "media", al livello di 0,1 unità di flusso, una radioemissione che confermava la natura non stellare della maggioranza di essi.

Il nostro lavoro³³ fu molto gradito, ed anche se non nominato ha probabilmente lasciato traccia nella versione scritta delle lezioni tenute da Sandage a Varenna la dove, parlando dei QSG, afferma "... and many of them, will be identified as weak radio sources in catalogues whose limiting flux is as low as 0,1 F.U.", esattamente il numero che noi avevamo indicato per l'emissione media.

Fu con questo viatico che alla fine dell'agosto 1966 mi recai negli Stati Uniti con una borsa NATO per un soggiorno di un anno presso il Caltech. L'idea di base era di proseguire il lavoro radio sui QSG utilizzando l'interferometro radio dell'Owen Valley, cosa che regolarmente feci³⁴. Volli però controllare se nel campo di $6,5^\circ \times 6,5^\circ$ esplorato originariamente da Véron, e poi noto come Sandage-Véron field, vi fossero altri oggetti interessanti, dal momento che intendevo farlo oggetto di una vera e propria piccola survey radio a 11 cm, e che le posizioni accurate che sarei stato in grado di ottenere avrebbero permesso di affrontare il problema della identificazione delle sorgenti trovate.

Fu così che Sandage mi diede la lastra u-b del campo, esposta da Véron nella notte tra il 6 ed il 7 febbraio 1965. E qui cominciarono le sorprese. Sulla lastra erano ancora segnati gli oggetti che Véron aveva stimato possedere un eccesso ultravioletto, ma la sua attenta esplorazione rivelava la presenza di moltissimi altri oggetti dello stesso genere, in genere più deboli, ma anche più brillanti di quelli già segnanti. Guarda, riguarda, agli 11 oggetti iniziali ne aggiunsi altri 500, poi andai da Sandage che, dopo aver controllato di persona un certo numero di oggetti ed aver trovato la mia selezione sostanzialmente corretta, rimase piuttosto sconcertato.

Come mai tutti questi oggetti non erano stati notati? Sono sempre rimasto con una impressione. gli oggetti di Véron erano tutti relativamente vicini ai bordi della lastra, e guardare per bene una lastra da 36×36 cm, senza metterci un vetro di protezione, e senza un visore adatto e quasi impossibile. Io lavoravo al Robinson Laboratory dove venivano tenuti gli originali della PSS, dove c'erano visori adatti, dove mi fu facile procurarmi un vetro di protezione. Véron aveva lavorato in Santa Barbara Street dove queste anche se elementari facilities non erano disponibili e spesso le grandi lastre venivano guardate contro la finestra, tenendole in equilibrio nel V delle dita della mano aperta.

Centinaia di oggetti, ma per procedere con il lavoro radio bisognava distinguere i quasars dalle stelle. Sandage mi aveva indicato due criteri di conferma: una volta selezionati per l'eccesso ultravioletto guardar bene se le immagini mostravano una qualche nonstellarità, "softness, fuzziness, wisps" e cercare, paragonando lastre di diversa epoca, gli oggetti variabili. Tali criteri potevano aiutare a trovare un certo numero di oggetti buoni, ma da soli non erano certo sufficienti a mettere in evidenza l'intera popolazione. Ad essi si potevano aggiungere indagini sui moti propri e proprio a questo lui e Luyten stavano allora lavorando.

Trovo in una lettera che Ceccarelli mi scriveva nel 1965: <<Cerca di stare di buon umore e di pensare solo in termini operativi e non interlocutori - Ormai abbiamo bisogno di entrare a piè pari nella statistica e non possiamo più permettereci (a meno che non venga, ma è improbabile. la Grande Idea) dei diversivi tipo "QSG" o "scintillazioni" - Ormai

abbiamo in mano: un programma di osservazioni al Tele abbastanza ben organizzato, i mangiaspaghi che funzionano, le medie che funzionano, il registratore su nastro che funziona - E quindi non abbiamo più nessuna giustificazione a non concludere una "linea di produzione" totalmente efficiente>>.

Marcello nomina, tra lo scherzoso e lo scaramatico, la "Grande Idea", la Grande Idea che non è detto debba arrivare e che non deve distogliere dal quotidiano, onesto, lavoro. Ma le "Grandi Idee", come diceva Marcello, o forse meglio dire le "piccole grandi idee", viste senza velleitarismi, al livello di quello che ciascuno può dare, nel grande filone complessivo del progresso della nostra arte, a volte possono anche venire, col carico immenso di soddisfazione e gratificazione che giustamente le accompagna. In fondo è per questo che si vive la propria vita scientifica.

Nel mio caso la "piccola grande idea" fu che le differenze tra lo spettro termico delle stelle e lo spettro non termico, tanto più esteso in frequenza dei quasars, dovevano emergere con chiarezza dal paragone delle immagini nel vicino infrarosso di quasars e stelle simili tra loro in u ed in b.

In una lettera degli inizi del 1967 scrivevo <<È un modo semplice di fare una cosa che sino ad ora era molto complicata. Cioè riconoscere le Quasars Silenti (il nome è bello, ma ti dice nulla?). Anche l'idea che ci sta dietro è semplice. Sandage, conversando, ha detto che avrebbe dovuto spararsi per non averci pensato....>>.

In effetti, dopo averci ben rimuginato e munito di appositi grafichetti, verso la metà di dicembre avevo bussato alla porta di Sandage. Non ebbi bisogno di molte parole: andò al telefono e riuscì, anche se eravamo quasi fuori tempo, a prenotarmi un run di tre giorni al 48" del Palomar per la metà del mese successivo. Così, nella notte 15/16 gennaio 1967, dopo aver lottato con le ipersensitizzazioni, riuscii ad ottenere un ottima lastra infrarossa del campo di Sandage-Véron

Paragonando in un blick questa lastra con la lastra u-b la differenza tra i due tipi di oggetti, le stelle ed i quasars, risultava evidente. Scelsi uno dei casi più convincenti, riuscii utilizzando una polaroid a fare una composizione fotografica delle immagini, e feci a tempo a presentare la cosa alla fine dello stesso mese al Texas Symposium di New York.

Quello stesso inverno Sandage ottenne la fotometria fotoelettrica di un certo numero di miei oggetti al 200", Luyten, cui erano state mandate le cartine di identificazione di 5 oggetti, scrisse che i moti propri apparivano <<a little too small for "regular" white dwarf>>, Roger Lynds, con il quale avevo parlato a Tucson di ritorno da New York, e che era in possesso della migliore strumentazione allora esistente per la spettrografia di oggetti deboli, alla fine di marzo ebbe le cartine di otto oggetti. Il 13 di aprile Barbon mi telegrafava da Tucson <<congratulazioni oggetti osservati da Lynds sono quasars, Roberto>>. Quasi contemporaneamente Lynds mi scriveva <<we were able to get spectra of three of your objects ... all three have emission lines with extragalactic redshifts, ... you will understand my satisfaction. Al termine della stagione osservativa tutti e otto gli oggetti erano stati osservati, e tutti e otto si erano rivelati quasars. La mia tecnica dunque funzionava, per una ristretta cerchia di persone ero ormai "Alessandro". Con l'aggiunta di un oggetto osservato l'inverno successivo, questi spettri formarono la base di un lavoro, a firma mia, di Lynds e di Sandage che vide la luce l'anno seguente³⁵.

Ma ora, se si voleva trasformare un successo occasionale in qualcosa di più stabile, si trattava di mettersi veramente al lavoro, perchè, come ribadiva Ceccarelli: «<L'unica cosa che puoi offrire ai Monti W. e P. non è un'idea che, anche se brillante, resta sempre un fatto isolato e privato, ma l'impressione di una capacità tecnico-organizzativa che si ponga su un piano di parità>>».

Quello che potevo e dovevo fare era di organizzare "industrialmente" il lavoro di riduzione fotometrica delle lastre, lavoro d'altronde necessario se si voleva porre la tecnica "dell'eccesso infrarosso" su basi quantitative. Avevo provato ad usare un fotometro ad iride che esisteva al Caltec, ma da una parte l'avevo trovato estremamente instabile, dall'altra la ricerca dei miei oggetti, sparsi a caso su di una grande lastra, si rivelava assai laboriosa e soggetta ad errori. Tornato in Italia avevo anche provato ad Asiago con il fotometro di Becker, un po' più stabile, ma che certo non permetteva misure ripetibili nemmeno a distanza di ore, e sempre con l'inconveniente della difficoltà di localizzare le immagini da misurare.

A Bologna Ceccarelli aveva già impostato la costruzione della macchina base, i carrelli appaiati di un blink microscopio capace di portare le lastre 36×36 cm. Riuscii ad integrarlo con un fotometro ad iride di mio disegno³⁶ e nel luglio del 1968, nonostante le molte distrazioni di quell'anno, ero in produzione. Lo strumento permetteva di ripetere misure anche a distanza di mesi, e non c'erano più problemi con l'identificazione degli oggetti, dato che la lastra in misura poteva essere paragonata e messa in registro con la lastra u-b montata sul secondo piatto del blink, lastra che serviva così da carta di identificazione. Per di più i dati relativi alla chiusura dell'iride finivano direttamente su schede perforate, pronte per l'elaborazione.

Sotto la guida di Liliana Formiggini arruolammo un certo numero di studenti come operatori, tra i quali, mi piace ricordarlo, c'era anche Valentina Zitelli neó iscritta a Fisica, e cominciò la campagna di misure. Ogni oggetto misurato da due operatori, e le misure discordi verificate da Liliana.

Una volta ridotte le prime lastre risultò subito che il numero di oggetti ad eccesso infrarosso cresceva molto rapidamente al diminuire della magnitudine, all'incirca come fanno le radiosorgenti: ci trovammo così in mano le prime evidenze di evoluzione cosmologica derivate direttamente per via ottica³⁷ e facemmo in tempo a presentare questi risultati, anche se in forma preliminare, al terzo Texas Symposium on Relativistic Astrophysics che tenne nel dicembre 1968 a Dallas. Il lavoro nella sua forma definitiva fu pronto nel maggio dell'anno successivo ed uscì prima dell'estate³⁸ ed ebbe l'onore di una recensione su *Nature*³⁹.

E con questo finiamo la storia. In quegli anni erano tutti ormai convinti che l'universo evolve, al congresso di New York del quale dicevo il vecchio Gamov, venuto direttamente dall'estate dalla Florida all'inverno di New York vestito di tela bianca e con elmetto coloniale, era stato accolto con una vera e propria ovazione. Ma tra la radiazione cosmologica di fondo e l'universo vicino la strada è lunga, ed i quasar identificati per via ottica potevano fornire, assieme alle radiosorgenti, così come poi sarebbe avvenuto, un valido strumento di indagine cosmologica.

Vorrei solo aggiungere una cosa: nel 1967 era ancora nel costume quella che scherzosamente Ceccarelli definiva la "presentazione al tempio": l'invito a tenere una relazione generale al congresso della S.I.F., normalmente preludio immediato alla Cattedra. Ed in effetti questo invito arrivò e la relazione fu tenuta⁴⁰. Poi ci fu il '68, ... ma questa è un'altra storia.

- 1 - Burbidge G., Hoyle F. "Matter and Anti-Matter". N.C. X. 4. 558. 1956.
- 2 - Morrison P.. "On Gamma-Ray Astronomy". N.C.. X. 7. 858. 1958.
- 3 - Braccesi A., Ceccarelli M., Salandin G.. "Search for γ Radiation from Cygnus A Radiosource". N.C.. X. 17. 691. 1960.
- 4 - Ceccarelli M. "Viaggio Provvisorio". p. 16. Zanichelli. 1977.
- 5 - Braccesi A., Ceccarelli M., Mannino G., Setti G., Sinigaglia G.. "Operation at the <<Medicina Station>> of a 327 MHz Raditelescope". N. C., X. 17. 614. 1960.
- 6 - Il BCAP Technical Report No 3 nella sua versione ufficiale è datato 1961. ma tale data non compare ancora nelle versioni preliminari che si trovano nella cartella di cui nel testo. esso viceversa è mezionato come del 1960 nell'articolo che descrive la croce italiana (Braccesi A., Ceccarelli M.. "The Italian Cross Radiotelescope. I. - Design of the Antenna.". N.C., X. 23. 208. 1962).
- 7 - Seeger C L., BCAP Tech. Rep. n. 1. 1958.
- 8 - Nell'estate 1960 Ceccarelli mi scriveva: <<Ho lanciato un sassolino ed ho ricevuto una lettera di risposta da M. Piuttosto seccata a dire il vero. Mi (o ci) accusa di voler fare del grande strumento "un oggetto rappezzato come l'attuale", di essere dei pasticcioni ecc. Io comincio ad essere un po' stanco di sentire delle critiche a livello tecnico fatte da persone che, ne sono strettamente convinto, ne sanno molto meno di me Temo perciò che l'unica soluzione sarà una prova di forza più o meno esplicita: questo lo temo anche perchè mi è stata già preannunciata per lettera la necessità di una spiegazione davanti a Puppi. ... >>. Come si vede fui fin dall'inizio coinvolto in questa vicenda, che ebbe anche risvolti personali, me proprio per questo non sono forse un buon testimone.
- 9 - Ceccarelli M., "Programs for Radioastronomy in Italy". Rendiconti della Scuola internazionale di Fisica "Enrico Fermi", XIX corso. B. Peters Ed., Milano. 1963. L'articolo a stampa include una fotografia delle prime due centine del telescopio montate a Medicina, fotografia posteriore di almeno un anno rispetto alla data della scuola.
- 10 - Braccesi A., Ceccarelli M., "The Italian Cross Radiotelescope. I. - Design of the Antenna."N.C., X. 23. 208. 1962.
- 11 - Gelato G., Rosatelli C., Sinigaglia G., "The Italian Cross Radiotelescope. II. - Preliminary Design of the Receiver". N C . X. 23. 254. 1962.
- 12 - M. Ceccarelli. "Bologna Cross-antenna Project". OCED Symposium on Large Antennae for Radioastronomy. Al simposio c'era un po' tutto il nostro gruppo, ricordo Gelato, Volders, Sinigaglia. Insieme a Sinigaglia, partecipai poi all'inaugurazione del radiotelescopio di Nancy.
- 13- Braccesi A., Ceccarelli M., Colla G., Fanti R., Gelato G., Giovannini C., Harris D., Rosatelli C., Sinigaglia G. e Volders L. "A Catalogue of Radiosources from $\delta = -20$ to $\delta = -30$ ". N.C., X. 40. 267. 1965.
- 14 - Braccesi A., Ceccarelli M., Gelato G., Sinigaglia G., "A Simple and Accurate Liquid Dielectric Variable Length Line". Proc. IEEE. 54. 69. 1966.
- 15 - Il 10 agosto 1966 Ceccarelli mi scriveva dal Forte dei marmi: "Dalla tua capisco che i lavori del cavo non sono ancora cominciatati (doveva trattarsi dei cavi Pirelli del N-S). Se l'operazione cavi non potesse avvenire ho intenzione di farla interferire con l'operazione "704" [Il primo calcolatore del Centro di Calcolo Interuniversitario di Casalecchio, centro la cui responsabilità fu affidata al Prof. Mannino, allora direttore dell'Istituto di Astronomia, anche per diminuire tensioni accademiche] e passare decisamente all'attacco della amministrazione universitaria - Strumentalizzando tutti per una notte di S. Bartolomeo; dal ministro

Gui a Trivellom [l'operaio montatore della SAE che rimase poi per molti anni a Medicina come manutentore dell'E-W]. .. Non è divertente sparare nella stoppa - Non fa sangue ne rumore - Ma c'è sempre la speranza di incocciare qualche osso - E .. credo di riuscire a trascinare anche i Puppi su una posizione di co-incazzatura definitiva ed irreversibile - Bisogna però cercare di non perdere la bussola in modo da conservare intatto il controllo sulla propria malvagità razionale".

16 - Högbom J. "A Comparison Between Two Different Designs for the BENELUX Radio Telescope". BCAP-memo 9. 5/12/61. Oort. "The Possibility of Alternative Designs for a Radio Telescope With a One-Minute Beam". BCAP Memo n. 11. 6/12/61. Erickson W. C. and Högbom J. "A Design for a 1420 Mc/sec BENELUX Cross Antenna". BCAP-Memo 20. 13/8/62. Christiansen W. N., Erickson W. C. and J.Högbom "The BENELUX Cross Antenna Project". Proc. I.R.E. Australia. February 1963. p. 219.

17 - Le osservazioni per il primo esperimento di supersintesi (Ryle M., Neville A., "A Radio Survey of the North Polar Region With a 4.5 Minute of Arc Pencil-Beam System", inviata 8/luglio/62, pubblicata MNRAS. 125. 39. 1962) erano state ottenute tra il maggio 1960 ed il giugno 1961 (Sheuer P., in Sullivan III W. T., "The Early Years of Radio Astronomy", p. 249. Cambridge. 1984).

Sempre secondo Sheuer i risultati di Ryle furono pubblicizzati in occasione della annuale "Herstmonceux Conference" del 1962, tenutasi tra il 16 ed il 17 di aprile. In tale occasione Oort si sarebbe soffermato a lungo ad osservarli, ma la presenza di Oort non risulta dagli atti del convegno (Observatory. LXXXII. 143. 1962).

Quando Ceccarelli seppe della sintesi polare commentò sulla segretezza dei cambridgiani "che l'avevano lasciato andare avanti senza dirgli niente". Credo si riferisse agli incontri avuti in occasione dell'OCED Symposium on Large Antennae for Radioastronomy tenutosi a Parigi alla fine del 1961.

Della decisione degli olandesi di convertire il loro progetto Ceccarelli fu posto al corrente da Högbom nel 1963, il 27 agosto infatti mi scriveva: "È venuto per qualche giorno a trovarci Högbom. .. l'ho portato a fare il week end a Forte dei Marmi: era stanco ed ha passato la maggior parte del tempo sonnecchiando - La stanchezza derivava dall'ulteriore cambiamento della croce olandese, che ora non è più una croce ma una linea E-W di una trentina di parabolini fissi destinati a fare in un giorno solo ciò che Ryle dovrebbe fare con una cinquantina di osservazione successive - È indubbiamente la più spiritosa tra tutte le idee correnti, ma nonostante questo mi sembra di capire che Högbom sarebbe contento di scambiare le nostre mille tonnellate di poco spiritoso cemento con le sue scartoffie .."

18 - Ryle M., "The new Cambridge Radio Telescope". Nature, 194. 517. 1962. (May. 12).

19 - Grueff G. Vigotti M., "A Pencil Beam Deep Sky Survey at 408 MHz". Astrophys. Lett., 2. 113. 1968.

20 - Braccesi A., Ceccarelli M., Colla G., Fanti R., Ficarra A., Gelato G., Grueff G., Sinigaglia G., "The Italian Cross Radiotelescope. III. - Operation of the Telescope." N.C., X. 62B. 13. 1969.

21 - Su questo dibattito vedi: Mills B., "Radio Sources and the LogN-Log S Controversy", in Sullivan III W. T., The early years of radio astronomy, p. 147. Cambridge. 1984. e Sheuer P., "Radio Sources Counts", in: "Modern Cosmology in retrospect", Bertotti B. et al. ed., Cambridge. 1990. Vedi anche F. Hoyle, "Home is where the Wind Blows. Chapters from a Cosmologist Life", Mill Valley University Science. 1994.

22 - Braccesi A., "On the Relation Between the Production of Energy and the Composition of Matter in a Steady Universe". N.C., X. 29. 1993. Con i dati odierni la discrepanza si riduce a circa un fattore 20 se si pone $H = 50 \text{ km / s Mpc}$, ad un fattore 10 se invece $H = 100 \text{ km / s Mpc}$.

23 - Bondi H., "Science, Churchill and Me". Cambridge. 1990.

24 - Sul retro del grafico, inviatoci a Varenna dove l'avevamo preceduto, Ceccarelli scriveva: "Dati bruti o, con analogia gastronomica, genuini del Nigri - Produced and bottled in Bologna by M. C." Il lavoro di riduzione dei dati era stato organizzato a S. Giovanni in Monte, utilizzando il lavoro carcerario, Nigrisoli, allora li detenuto, era uno degli operatori.

25 - Braccesi A., Ceccarelli M., Fanti R., Giovannini C., "On the $\langle\langle \log N - \log S \rangle\rangle$ Relation for Radiosources at 408 MHz". N.C., X. 41. 92. 1966. il lavoro era stato inviato al giornale il 7 dicembre 1965.

26 - Curiosamente le cose andarono in modo diverso a Cambridge, dove i tentativi di Hoyle di tenere in piedi la Steady State erano stati presi più sul serio, vedi in proposito: Sheuer P., "Radio Sources Counts", in: "Modern Cosmology in retrospect", Bertotti B. et al. ed., Cambridge. 1990.

27 - Ceccarelli M., "Problemi generali dell'astrofisica", Suppl. al N.C., I. 1. 205. 1963. In una "nota aggiunta in bozze" Ceccarelli scrive: "Negli ultimi mesi sono state effettuate misure spettrali nel visibile per

due di questi oggetti. Con grande sorpresa è risultato che essi hanno una velocità di recessione elevatissima: del tutto incompatibile con l'ipotesi che si tratti di stelle della nostra galassia. I dati attualmente disponibili indicherebbero trattarsi di oggetti extragalattici assolutamente eccezionali ..."

28 - Sandage A.. "The Existence of a Major New Constituent of the Universe: the Quasi Stellar Galaxies". Ap. J., **141**, 1560, 1965.

29 - Kinman, T. D.. "The Nature of the Fainter Haro-Luyten Objects". Ap. J. **142**, 1241, 1965.

30 - Lynds C. R. and Villiere G.. "On the Interpretation of the Integral Count-Apparent Magnitude Relation for the Haro-Luyten Objects". Ap. J. **142**, 1296, 1965.

31 - Sandage A.. "Observational properties of radio galaxies and quasi-stellar sources". in: International School of Physics "Enrico Fermi", Course XXXV. High-Energy Astrophysics. L. Gratton ed., p. 10. Milano, 1966. Il paragrafo sui QSG si intitola "The existence of quasi-stellar galaxies". Dopo avere discusso il contributo di Kinman e quello di Lynds e Villiere, che metteva in questione la sua analisi dei conteggi, Sandage scrive "Neither Kinman nor Lynds questioned the *existence* of the new class of extragalactic objects, but rather indicated that the percentage of QSG to halo stars was lower than Sandage's estimates."

32 - Sandage A., Véron P.. "Photometric Results of a Special Survey for interlopers". Ap. J., **142**, 412, 1965.

33 - Braccesi A., Fanti R., Giovannini C., Vespignani G.. "Radio emission from quasi stellar galaxies". Ap. J., **143**, 600, 1966. Ceccarelli, che non compare tra gli autori, in contapposizione al "new major component of the universe" di Sandage, aggiunse ironicamente al testo la frase: "a minor constituent of the radio sky".

34 - Braccesi A.. "2800 MHz Radio Emission from Eleven Quasi-Stellar Galaxies". N.C., X, **49**, 151, 1967.

35 - Braccesi A., Lynds R., Sandage A.. "Spectroscopic and Photometric Data for a Sample of Quasi-Stellar Objects Identified by their Infrared Excess". Ap. J., **152**, L105, 1968.

36 - Braccesi A.. "An Iris Photometer of New Design". Mem. SAI, XXXIX, 737, 1968.

37 - È vero che Maarten Schmidt l'anno prima aveva discusso l'evoluzione delle quasars del 3C assegnando un unico andamento sia all'evoluzione radio che a quella ottica (Schmidt M., "Space Distribution and Luminosity Functions of Quasi Stellar Radio Sources". Ap. J., **151**, 393, 1968.), ma è anche vero che nei suoi dati l'evoluzione ottica non giocava alcun ruolo e che la possibilità di una evoluzione ottica non era stata considerata neppure da Sandage, così come risulta sia dalle sue lezioni di Varenna che dai suoi contributi successivi (vedi ad esempio: Sandage A. and Luyten W. J., "On the nature of the Faint Blue Objects in the High Galactic Latitudes. I. Photometry, Proper Motions and Spectra in the Field 1:36+6° and Richter Field M3, II.", Ap. J., **148**, 767, 1967).

38 - Braccesi A. and Formigini L.. "On the Number-Magnitude Relation for the Quasi-Stellar Objects in the Field 13^h 36^m". Astron. & Ap., **3**, 364, 1969.

39 - "How Quasars Evolve". Nature, **224**, 751, 1969.

40 - Braccesi A.. "Problemi moderni di astrofisica relativistica". Suppl. al N.C., I, **6**, 971, 1968.